УДК 664.854

ДОСЛІДЖЕННЯ СУШІННЯ КУЛЬТИВОВАНИХ ГРИБІВ РІЗНИМИ ІНФРАЧЕРВОНИМИ ВИПРОМІНЮВАЧАМИ

Бурлака Т.В., аспірант, Дубковецький І.В., канд. техн. наук, доцент,
Малежик І.Ф., д-р техн. наук, професор
Національний університет харчових технологій, м. Київ

В останні роки перспективним напрямом в харчовій промисловості є створення харчових продуктів нового покоління. Наразі значна частина сировини, яка використовується для виробництва харчових продуктів, переобтяжена засвоюваними вуглеводами і тому ці продукти мають низьку біологічну цінність, малий вміст вітамінів і підвищену калорійність. Нами пропонується удосконалити технологію виробництва харчових продуктів і використовувати принципово нову сировину - їстівні гриби. Огляд літературних джерел показав, що практично відсутні відомості про процеси, які відбуваються під час сушіння грибів. Тому, метою наших досліджень стало вивчення процесу сушіння культивованих грибів та змін, які відбуваються в грибах під час сушіння.

In recent years, promising trend in the food industry is to create a new generation of food. To date, much of the raw materials used for the production of food, overloaded digestible carbohydrates, and therefore these products have a low biological value, low content of vitamins and high calorie content. To solve this problem, we offer technology to improve food production and using brand new raw materials - edible mushrooms. Literature review showed that virtually no information about the processes that occur during drying mushrooms. Therefore, the aim of our research was to study the drying process cultivated mushrooms and changes that occur in fungi during drying.

Ключові слова: сушіння, гриби, радіаційно-конвективнй спосіб, опромінення, енерговитрати, інфрачервоне сушіння.

На сучасному етапі розвитку суспільства першочергового значення набуває проблема покращення якості та розширення асортименту продукції. В останні роки перспективним напрямом в харчовій промисловості є створення харчових продуктів нового покоління. На значна частина сировини, яка використовується для виробництва харчових продуктів, переобтяжена засвоюваними вуглеводами, і тому ці продукти мають низьку біологічну цінність, малий вміст вітамінів і підвищену калорійність. Для вирішення цієї проблеми, нами пропонується удосконалити технологію виробництва харчових продуктів і використовувати принципово нову сировину – їстівні гриби.

Штучно вирощені гриби – екологічно чистий продукт, який виключає можливість отруєння. При правильному вирощуванні грибів їх виробництво має достатньо високий рівень рентабельності [2]. Сьогодні гриби включені в численні рецептури дієтичного харчування у всьому світі. Одночасний збір великої кількості їстівних грибів і обмежений термін зберігання обумовлюють розробку нових і вдосконалення існуючих технологій переробки і зберігання грибів. Асортимент продукції з грибів дуже обмежений, що обумовлено в першу чергу відсутністю належних технологій переробки [4]. Перспективним напрямом вирішення цієї проблеми є удосконалення процесу сушіння їстівних грибів, що дозволить розробити нові продукти підвищеної харчової і біологічної цінності, які повністю забезпечуватимуть потребу організму людини в білках, вуглеводах, жирах, вітамінах і мінеральних речовинах.

Огляд літературних джерел показав, що практично відсутні відомості про процеси, які відбуваються під час сушіння грибів. Тому, метою наших досліджень стало вивчення процесу сушіння грибів та змін, які відбуваються в грибах під час сушіння. Сушіння є суміщеним тепловим і дифузійним процесом, за якого волога дифундує із середніх шарів матеріалу до його поверхні, переходить крізь пограничну плівку, а потім дифундує в середину газової фази, виносячи при цьому з матеріалу значну кількість теплової енергії. Підраховано, що в Україні приблизно 15 % палива витрачається на сушіння, при цьому енергетичний ККД багатьох сушильних установок становить лише 30…50 %. У зв'язку з високою вартістю енергоресурсів навіть 1 % економії споживаної енергії приносить суттєві економічні результати. Тому підвищення технологічної та енергетичної ефективності процесів сушіння має важливе народногосподарське значення.

Для вирішення даних завдань нами була спроектована і розроблена радіаційно-конвективна сушильна установка. Сушильна установка являє собою камеру, виготовлену з листів полірованого алюмінію, який володіє високим коефіцієнтом відбивання інфрачервоних променів, що покращує умови створення рівномірності опромінення об’єкта сушіння. Потік повітря переміщується під дією лопатей вентилятора,

проходить послідовно через електричний калорифер і сушильну камеру, у якій контактує з матеріалом, підводячи до нього теплоту і відводячи випарувану вологу.

Попередньо нами було досліджено процес сушіння культивованих грибів «глива» конвективним, інфрачервоним та радіаційно-конвективним способами при температурах 40, 50, 60 і 70 ºС. При цьому ефективним виявився радіаційно-конвективний спосіб. ІЧ- випромінювання поглинається в основному поверхнею матеріалу, що створює в поверхневому і приповерхневому шарах градієнт температур, спрямований всередину нарізаного шматочками продукту. Це перешкоджає тепломасопереносу, тобто погіршує умови переміщення вологи з внутрішніх шарів до зовнішніх, але при висушуванні в імпульсному режимі нагрів-охолодження, при одночасному конвективному і ІЧ-енергопідведенні з рециркуляцією повітря спостерігалось підвищення якості кінцевого продукту, скорочення енерговитрат і прискорення процесу сушіння.

Оскільки енерговитрати є одним із визначальних факторів економічної ефективності сушильних установок, для подальших досліджень було обрано для сушіння культивованих грибів радіаційно-конвективний спосіб – конвекцією і терморадіацією.

Нами проведено дослідження впливу взаємодії конвекції з світлими та темними променями ІЧ-випромінювачів різної потужності на процес сушіння культивованих грибів «глива». Існує велика кількість приладів для генерування інфрачервоного випромінювання, головним елементом яких є випромінювач. Він представляє собою технічне джерело теплової радіації, в якому електрична енергія перетворюється у світлову з довжиною хвилі від 0,8 – до 15 мкм. Випромінювачі діляться на дві основні групи: світлі та темні. Світлі джерела дають інфрачервоне випромінювання з малою часткою в області видимого світла і сприймаються оком. А темні – непомітні для людського ока і можуть бути сприйняті шкірою у вигляді відчуття тепла. Темні випромінювачі найбільш надійні та довговічні, нечутливі до раптового охолодження або до потрапляння краплин вологи [2].

Розрізняють такі основні типи випромінювачів: лампові інфрачервоні випромінювачі; дугові газорозрядні лампи високого тиску; дугові лампи, електричні випромінювачі з кварцовими та керамічними оболонками, трубчасті випромінювачі в металічних оболонках, електричні випромінювачі в металічних оболонках з відкритими неметалічними та металічними тілами розжарювання, газові інфрачервоні випромінювачі та багато інших.

Дослідження параметрів різних інфрачервоних установок вказують на високі показники температурної дії можливість регулювання потужності та інтенсивності випромінювання помірні енерговитрати у порівнянні з іншими методами теплової дії на об’єкт.

Як джерела світлих променів використовували електричні кварцові випромінювачі. Електричні випромінювачі з кварцовими оболонками мають високу термічну стійкість та забезпечують в нормальному стані енергетичну освітленість до 10 Вт/см^2. Тіло розжарювання таких випромінювачів має форму спіралі та виготовлене з вольфраму. Світлова температура складає 2500 °С; максимум спектральної щільності випромінювання відповідає довжині хвилі 1 мкм.

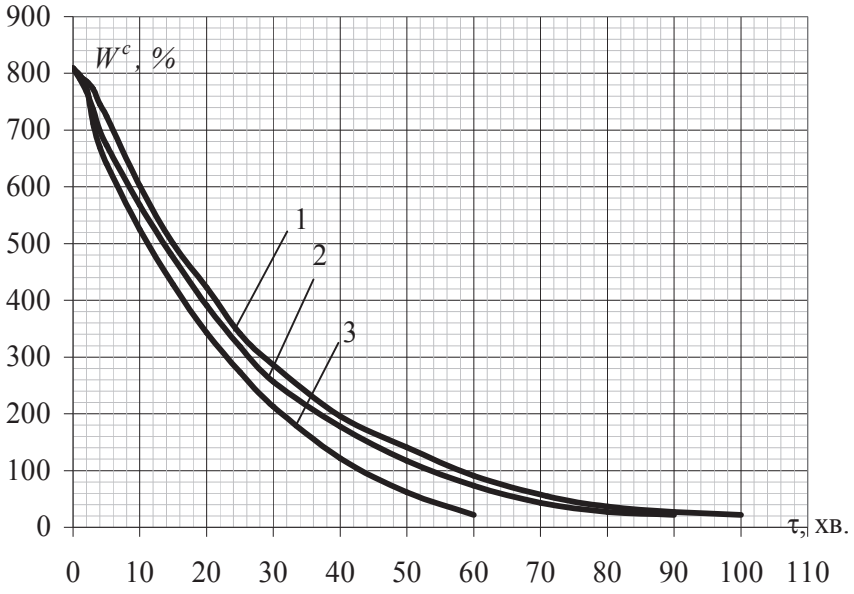
Кварцові випромінювачі - це випромінювачі, що імітують інфрачервоні хвилі середньої довжини. Довжина хвилі випромінювання від 1,3 до 3 мкм. Їх основною перевагою є досягнення повної здатності емісії після закінчення приблизно 30 секунд з моменту їх підключення.

Кварцові випромінювачі виготовлені з трубок, зроблених із кварцового скла з резистивною спіраллю всередині, в корпусі з нержавіючої листової "дзеркальної" сталі з кріпленням і електричним приєднанням.

Опромінення трубчастими «темними» ІЧ-генераторами з довжиною хвиль 2,0…4,0 мкм здійснювалось зверху і знизу продукту. Величина опромінення інфрачервоних ТЕНів становила Е=8 кВт/м^2. Одночасно з опроміненням світлими та темними променями здійснювали конвективне підведення теплоти від зовнішнього ТЕНу потужністю 1 кВт. Визначення впливу світлих та темних променів ІЧ-випромінювачів різноманітної потужності на процес сушіння проводили при постійних параметрах: температура теплоносія – 60 ºС; початкове питоме навантаження – 4,4 кг/м^2; швидкість повітря – 5,5 м/с; відстань від ІЧ-випромінювачів до сировини – 12 см. Потужність ІЧ-випромінювачів змінювалась:

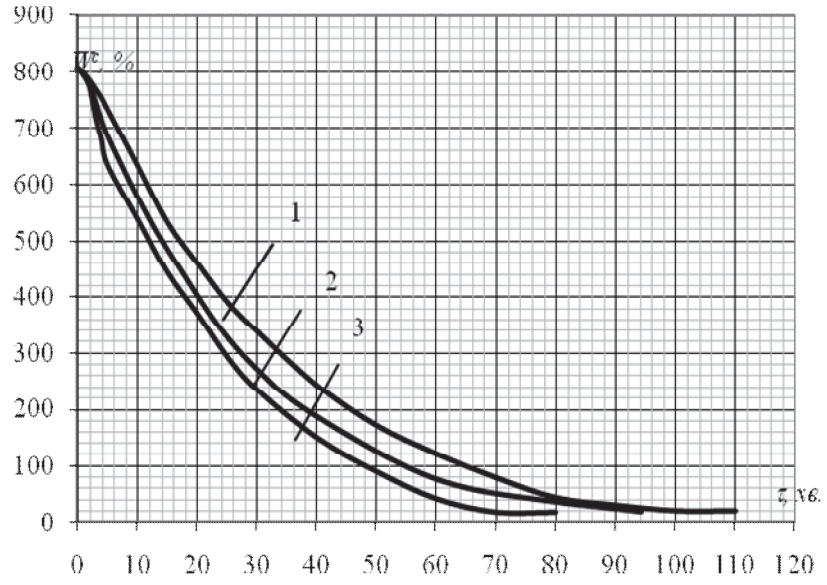
- для світлих променів – 1,0 кВт, 2,0 кВт, 3,0 кВт;
- для темних променів – 0,5 кВт, 1,5 кВт, 2,5 кВт.

Одержані в результаті дослідження криві комбінованого конвективно-терморадіаційного сушіння зі світлими та темними променями ІЧ-випромінювачів різної потужності наведені на рис.1, 2. З рисунків видно, що тривалість сушіння грибів зі збільшенням потужності ІЧ-випромінювачів зменшується з 90 до 60 хвилин для світлих променів і з 110 до 80 хвилин для темних променів. Період сталої швидкості сушіння спостерігався до першої критичної точки, а період спадної швидкості до досягнення рівноважного вологовмісту.



1 – 1,0 кВт; 2 – 2,0 кВт; 3 – 3,0 кВт

Рис. 1 – Криві комбінованого сушіння культивованих грибів «глива звичайна» світлими інфрачервоними випромінювачами



1 – 0,5 кВт; 2 – 1,5 кВт; 3 – 2,5 кВт

Рис. 2 – Криві комбінованого сушіння культивованих грибів «глива звичайна» темними інфрачервоними випромінювачами

Криві сушіння характеризують зміну інтегрального вологовмісту W залежно від часу. Звідси видно, що із збільшенням потужності ІЧ-випромінювачів тривалість процесу сушіння скорочується на незначну величину для досягнення кінцевої величини вологовмісту W^c.

Апроксимуючи дані першого періоду сушіння, вивели рівняння, що підпорядковуються лінійному закону (табл.1).

Таблиця 1 – Апроксимуючі дані першого періоду сушіння

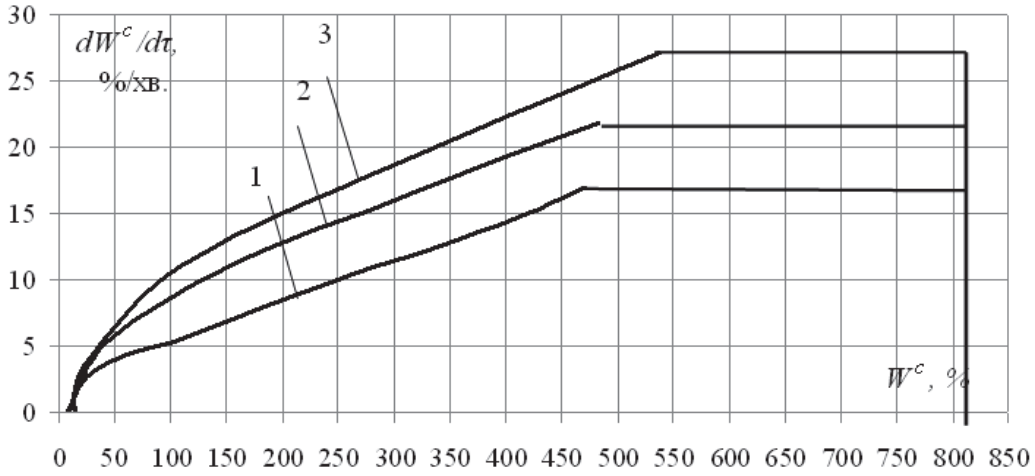
Світлі інфрачервоні випромінювачі	Темні інфрачервоні випромінювачі
1 кВт	**0,5 кВт**
W^c = -24,53 τ + 813,28 при R^2 = 0,99	W^c = -18,788 τ + 822,35 при R^2 = 0,99
2 кВт	**1,5 кВт**
W^c = -24,892 τ + 809,55 при R^2 = 0,9897	W^c = -28,512 τ + 825,46 при R^2 = 0,99
3 кВт	**2,5 кВт**
W^c = -30,253 τ + 812,33 при R^2 = 0,967	W^c = -24,658 τ + 812,03 при R^2 = 0,98

Апроксимуючи дані другого періоду сушіння, вивели рівняння, що підпорядковуються логарифмічному закону (табл.2).

Таблиця 2 – Апроксимуючі дані другого періоду сушіння

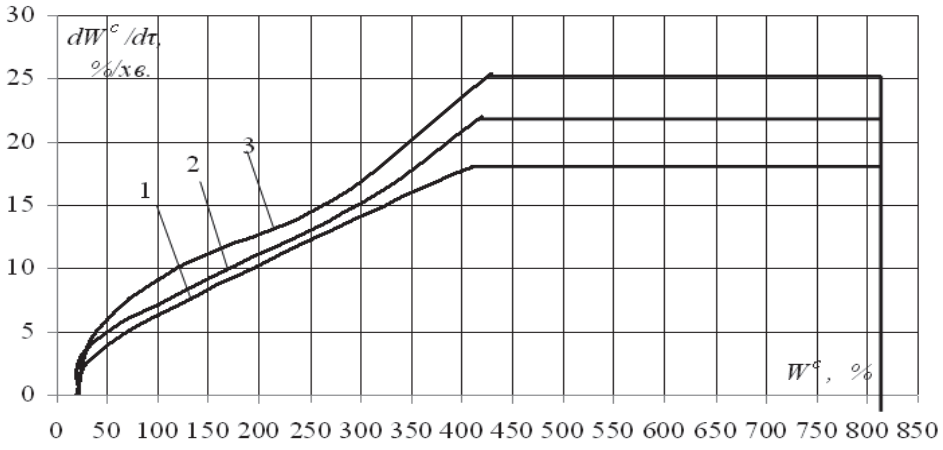
Світлі інфрачервоні випромінювачі	Темні інфрачервоні випромінювачі
1 кВт	**0,5 кВт**
W^c = -270,1ln(τ) + 1167,8 при R^2 = 0,993	W^c = -278,4ln(τ) + 1280,5 при R^2 = 0,98
2 кВт	**1,5 кВт**
W^c = -262,4ln(τ) + 1164,9 при R^2 = 0,9853	W^c = -260,8ln(τ) + 1111,4 при R^2 = 0,96
3 кВт	**2,5 кВт**
W^c = -300,2ln(τ) + 1238,7 при R^2 = 0,99	W^c = -298,8ln(τ) + 1279,3 при R^2 = 0,98

На основі даних по кривих сушіння гливи звичайної культивованої були побудовані криві швидкості сушіння другого періоду для світлих та темних променів з різною потужністю ІЧ – випромінювання (рис.3,4).



1 – 1,0 кВт; 2 – 2,0 кВт; 3 – 3,0 кВт

Рис. 3 – Криві швидкості комбінованого сушіння культивованих грибів глива звичайна світлими інфрачервоними випромінювачами при потужності тенів



1 – 0,5 кВт; 2 – 1,5 кВт; 3 – 2,5 кВт

Рис. 4 – Криві швидкості комбінованого сушіння культивованих грибів «глива звичайна» темними інфрачервоними випромінювачами при потужності тенів

При виведенні рівняння кінетики сушіння з експериментальних залежностей $dW^c/d\tau$ встановили, що на першій стадії швидкість сушіння можна вважати постійною.

Проаналізувавши другий період сушіння вивели апроксимаційні рівняння залежності швидкості сушіння від вологовмісту, що підпорядковуються лінійному закону (табл.3).

Таблиця 3 – Апрокцимаційні рівняння залежності швидкості сущіння від вологовмісту

Світлі інфрачервоні випромінювачі	Темні інфрачервоні випромінювачі
1 кВт	**0,5 кВт**
$dW^c/d\tau = 0{,}0336W^c + 1{,}3214$ при $R^2 = 0{,}98$	$dW^c/d\tau = 0{,}0422W^c + 1{,}1655$ при $R^2 = 0{,}98$
2 кВт	**1,5 кВт**
$dW^c/d\tau = 0{,}0422W^c + 2{,}5628$ при $R^2 = 0{,}95$	$dW^c/d\tau = 0{,}0485W^c + 1{,}3817$ при $R^2 = 0{,}98$
3 кВт	**2,5 кВт**
$dW^c/d\tau = 0{,}0476W^c + 3{,}0012$ при $R^2 = 0{,}95$	$dW^c/d\tau = 0{,}0548W^c + 1{,}7757$ при $R^2 = 0{,}97$

Швидкість повітря впливає на тривалість сушіння грибів лише у періоді постійної швидкості сушіння**,** а у періоді падаючої швидкості сушіння зменшення вологовмісті матеріалу практично не залежить від швидкості повітря, що не впливає на переміщення вологи в середині грибів.

Графік залежності витрат енергії від швидкості теплоносія при радіаційно-конвективному способі сушіння культивованих грибів «глива звичайна» наведено на рис.5 і рис.6.

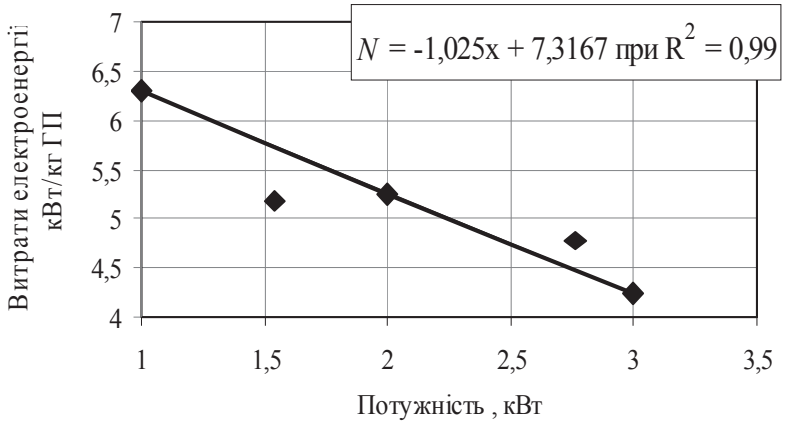


Рис. 5 – Залежність витрат енергії від потужності світлих тенів при комбінованому методі енергопідведення, кВт/кг готового продукту

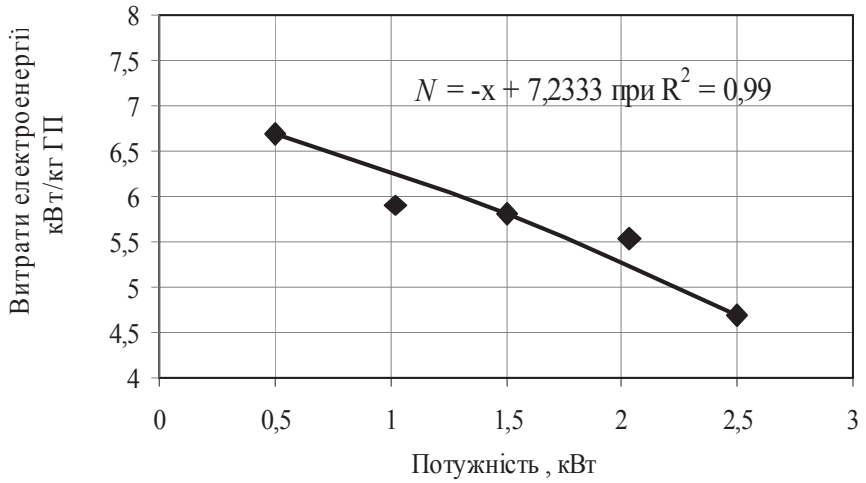


Рис. 6 – Залежність витрат енергії від потужності темних тенів при комбінованому методі енергопідведення, кВт/кг готового продукту

При оцінці того чи іншого способу сушіння вирішальне значення мають якісні показники готового продукту. Раціональними можуть бути визнані тільки такі способи і режими, які поряд з економічним ефектом забезпечують також високу якість готового продукту.

При тепловій обробці культивованих грибів «глива звичайна» поряд з видаленням вологи відбувається ряд біологічних змін. Саме вони значною мірою визначають якість готового продукту. Найважливішими показниками, що характеризують якість сушених грибів, є їх колір, запах, смак, набухання, а також вміст у них біологічно активних речовин, таких як: білок, азот. Дані загального вмісту білка і азоту наведені в табл.4.

Таблиця 4 – Загальний вміст азоту і білка у грибах

	Потужність	Масова частка сухої речовини, %	Загальний азот, г/100 г.	Загальний білок, г/100 г.
Темні ТЕНи				
1	0,5	86,37	3,306	20,66
2	1,5	86,37	3,867	24,22
3	2,5	86,37	3,052	19,08
Світлі ТЕНи				
4	1,0	86,37	2,382	14,89
5	2,0	86,37	3,41	24,00
6	3,0	86,37	2,299	14,37

Висновки. Оптимальна потужність темних ТЕНів становить 1,5 кВт і світлих 2 кВт при питомому навантаженні 4,4 кг / м^2, бо при використанні їх зберігається найбільший вміст білка і азоту. При меншої потужності ТЕНів збільшується час сушіння, що призводить до зниження вмісту біологічно активних речовин у сухому продукті. При збільшенні потужності ТЕНів спостерігається розтріскування, деформація і потемніння сухих грибів, що призводить до зниження вмісту біологічно активних речовин.

Література

1. Патент на корисну модель 97303 Україна / Радіаційно-конвективна сушильна установка / Дубковецький І.В., Малежик І.Ф., Бурлака Т.В., Стрельченко Л.В.
2. Гинзбург А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности// А.С. Гинзбург, В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин М.: Пищевая промышленность, 1966. - 407 с.